XVII. LA DENDROCRONOLOGIA

por BRYANT BANNISTER

El surgimiento de la dendrocronología como instrumento importante para la datación arqueológica puede determinarse exactamente en el tiempo y en el espacio: el 22 de junio de 1929, en Showlow, Arizona. Claro está que la especulación sobre la naturaleza de los anillos de árbol se remonta a los estudios de Teofrasto, en el siglo III A. C., y ciertamente las detalladas observaciones hechas por un gran número de botánicos y naturalistas nos han conducido a la comprensión que hoy tenemos del crecimiento de los anillos y de sus implicaciones [35]. Pero estaba reservado al astrónomo A. E. Douglass —pionero reconocido de la ciencia de la dendrocronología— el aplicar los fenómenos de los anillos de árbol en un enfoque sistemático a los problemas cronológicos de la arqueología.

Douglass comenzó a examinar los anillos de árbol en 1901, cuando trataba de encontrar un instrumento para aplicarlo al estudio de los ciclos de las manchas solares. Unas dos décadas después reconoció las aplicaciones potenciales de su trabajo para la arqueología, y en ese momento emprendió una investigación que requirió diez años, con el fin de datar las espectaculares ruinas indias de Pueblo Bonito. Este proyecto destaca como modelo de cooperación interdisciplinaria y culmina en el establecimiento de las fechas de construcción, no solamente de Pueblo Bonito, sino también de más de cuarenta ruinas importantes del sudoeste norteamericano [15,60]. La impresionante conclusión de este proyecto históricamente importante tuvo lugar una noche de verano en la pequeña ciudad de Showlow, en la que Douglass, después de observar cuidadosamente la colección de ese día de especímenes de anillos de árbol excavados en una ruina cercana, comprendió que acababa de salvar el abismo entre una cronología que fluctuó durante siglos —basada en las vigas de las construcciones antiguas— y un registro datador de anillos de árbol que, partiendo de los tiempos modernos [14], se proyectaba hacia el pasado. Aquella brecha estaba colmada: inmediatamente se asignaron fechas exactas a las informaciones que se tenían sobre ruinas prehistóricas y la datación arqueológica con el método de anillos de árbol llegó a la mayoría de edad.

LOS PRINCIPIOS BASICOS

El término dendrocronología se refiere tanto al método de empleo de anillos de árbol para la medición del tiempo (cuyo campo principal de aplicación es la arqueología) como al proceso de inferir las pasadas condiciones ambientales cuando los anillos estaban en formación (cuyo campo principal de aplicación es la climatología). Aunque algunos preferirían limitar el término al primer uso, al arqueólogo no le interesa mayormente esta discrepancia, ya que él se beneficia con todos los aspectos de la investigación de los anillos de árbol.

Los principios básicos que implica la dendrocronología son engañosamente sencillos. Los anillos de árbol tan obvios en las secciones transversales de la mayoría de los árboles, se pueden describir más correctamente como las secciones transversales de capas sucesivas de crecimiento de xilema: cada capa ha sido producida por el árbol en respuesta a alguna fluctuación ambiental, normalmente de naturaleza anual en climas con estaciones marcadas. En las coníferas el anillo anual se compone de dos partes: una banda interna de grandes células de color claro, que se fusiona, a veces muy gradualmente, con otra banda externa de color oscuro y de paredes más resistentes, y que a su vez termina casi siempre en forma brusca, dejando un borde externo claramente definido. Cierta cantidad de angiospermas y arbustos tienen anillos anuales con características generales parecidas, pero también se sabe que existen anillos de árbol de considerable complejidad [44].

En aquellas regiones en que la dendrocronología se ha aplicado con éxito a especímenes arqueológicos se encuentran, por lo general, básicamente dos tipos de series de anillos de árbol (lámina XII), o quizá se debía denominar a los dos tipos como puntos terminales dentro de un continuo de variaciones. En el primer tipo los anillos tienen un grosor relativamente uniforme, cuando se les mide a lo largo de un radio, y a menudo presentan una lenta reducción algebraica en el sentido de su anchura, cuando el árbol está llegando a su madurez. Estas series de anillos que no tienen carácter distintivo se denominan complacientes (lámina XIIa). En contraste, el segundo tipo de anillo se caracteriza por lo variable de la anchura de los anillos en particular, aunque puede presentarse una disminución gradual en el tamaño relativo de los anillos a medida que el árbol envejece. Estas series se denominan sensitivas (lámina XIIb, c) y son mucho más adecuadas a los fines dendrocronológicos.

En ciertas condiciones los registros contemporáneos de anillos formados por árboles sensitivos, cuando se comparan entre sí, demuestran una sorprendente similitud. Los tipos de anillo angosto o ancho de un árbol se equiparan estrechamente con los tipos encontrados en otros árboles (lámina XIIb, c). La datación cruzada —que se basa en este fenómeno— puede definirse como la identificación en diferentes árboles de los mismos modelos de anillo; cada serie de anillos representa exactamente el mismo período de años. El principio fundamental subyacente en la datación por anillos de árbol es, por tanto, la datación cruzada, y debe tenerse presente para la derivación de fechas, tanto absolutas como relativas.

El principio de la datación cruzada da origen a dos facetas muy importantes de la investigación de anillos de árbol. Primero: la aplicación adecuada de este principio en regiones que contienen árboles que se pueden datar cruzadamente y que, por tanto, pueden servir para controlar los datos, permitirá que se asignen años calendarios a cada uno de los anillos individuales dentro de un espécimen. Este rasgo clave, por supuesto, es el causante de la datación arqueológica por el método de anillos de árbol en su sentido más absoluto. Es posible obtener hasta una datación relativa aun cuando no se tengan a mano los controles modernos de anillos de árbol. Segundo: el solo hecho de que las pautas de anillos que permiten la datación cruzada estén presentes en los árboles ya implica la existencia de algún factor ambiental, o un complejo de factores, que no sólo van fluctuando año tras año (en el caso de que se trate de anillos anuales), sino que también tienen la capacidad de inducir respuestas de crecimiento simultáneo y similar por parte de los árboles situados en una determinada zona geográfica. El aislamiento y la comprensión de tales factores dominantes son de interés tanto para los fisiólogos de árboles como para los dendrocrinólogos.

No debe suponerse que las condiciones causantes de la datación cruzada sean las mismas en todos los lugares donde el fenómeno se presenta. Por ejemplo: en las regiones semiáridas del sudoeste de los Estados Unidos la humedad del suelo parece ser el factor dominante de control, mientras que en Alaska y en otras regiones septentrionales parece ser la temperatura el principal determinante. No debe suponerse que la datación cruzada se da siempre, ya que —en realidad— sólo ciertos árboles de una zona permiten la datación cruzada entre sí; sólo ciertas zonas del mundo poseen árboles que se pueden datar de este modo, y no existen, por lo general, zonas separadas entre las que se pueda establecer la datación cruzada.

Se ha escrito mucho sobre los principios básicos del crecimiento de los árboles y sus implicaciones dendrocronológicas. Algunos de los trabajos más importantes en el sudoeste americano son los de Douglass [11,12,15], Ferguson [24], Glock [41], Glock, Studhalter y Agerter [44], en tanto que Schulman [80], Bell [3], Hawley [47], Schulman [77] y Willey [96] se han ocupado todos de la cuenca del Mississippi. Weakly [91,92] y Will [94,95] han llevado a cabo investigaciones en las Grandes Llanuras de los Estados Unidos. Lyon [57-59] ha informado sobre estudios de anillos de árbol hechos en Nueva Inglaterra. La contribución básica a la dendrocronología en Alaska es la de Giddings [28], aunque Giddings [30,31,33,35] y Oswalt [68,69] han hecho otros estudios pertinentes. Otras regiones investigadas del Hemisferio Occidental, comprenden partes de Canadá, el oeste de los Estados Unidos, México y Sudamérica [80].

Los científicos escandinavos han producido varios estudios excelentes. Se han hecho resúmenes en idioma inglés de los trabajos de Eklund [23], de Suecia; Hóeg [48], de Noruega; Holmsgaard [49] de Dinamarca, y Mikola [62], de Finlandia. Hustich [52,53] ha hecho estudios sobre árboles en las regiones del Norte. Son sobresalientes los trabajos de Huber y Jazewitsch [50], del Instituto de Botánica Forestal de Tharandt y Munich. Dobbs [9,10] y Schove [72,73] han demostrado gran actividad en sus informes sobre estudios de anillos de árbol llevados a cabo tanto en las Islas Británicas como en Escandinavia; Messeri [61] ha publicado estudios del crecimiento de árboles en Italia. Hasta la fecha es poco el trabajo que se ha hecho en Africa, y se han llevado a cabo algunas investigaciones en Asia: en Rusia, por Rudakov [70]; en Israel, por Gindel [37]; en Java, por DeBoer [8], y en Japón, por Kohara [55] y Nishioka [63]. De la situación en Nueva Zelanda tenemos la visión bastante pesimista que nos dan Bell y Bell [5].

La lista anterior no constituye, de ningún modo, una lista completa de las publicaciones sobre anillos de árbol, aunque representa bastante bien el trabajo básico realizado en las regiones mencionadas. La mayoría de las citas se han escogido porque tratan de ideas fundamentales y reflejan las potencialidades de la datación por anillos de árbol, y no solamente presentan resultados de investigaciones arqueológicas. Cuando ha sido posible hemos anotado las publicaciones más recientes, con sus bibliografías, para que el lector pueda continuar investigando, si lo desea. Glock [42] presenta un compendio mucho más completo de estudios sobre el crecimiento de árboles, y hace una crítica mordaz de la dendrocronología en general.

REQUISITOS PARA LA DATACION ARQUEOLOGICA DE ANILLOS DE ARBOL

Para que el método de anillos de árbol pueda aplicarse a la solución de problemas arqueológicos en cualquier región es necesario que se den varias condiciones favora-

bles, y, desgraciadamente, estas condiciones imprescindibles no son universales. El primer requisito es la existencia de una gran cantidad de especímenes de anillos de árbol, de madera o de carbón, asociados al medio arqueológico que se quiera datar. No sólo deben haber usado los habitantes prehistóricos de la zona grandes cantidades de madera —de preferencia en construcciones—, sino que la madera debe haberse conservado de tal manera que tanto la estructura de las células como la de los anillos siga siendo clara. Por esto muchas zonas del mundo quedan excluidas inmediatamente, ya sea porque la madera no se usó extensamente en el pasado, o porque la que se usó se ha deteriorado con el tiempo. Por otra parte, existen ciertas regiones que son particularmente favorables: el sudoeste de los Estados Unidos, el norte de México, algunas zonas árticas, Turquía, Egipto y varios lugares de Europa y Asia, en que las condiciones locales han asegurado la conservación. El carbón es una fuente magnífica para el registro de anillos de árbol, porque es uno de los materiales más indestructibles —siempre que no haya sido triturado—, pero su presencia en cantidades apreciables en un sitio arqueológico está relacionada en parte con las prácticas culturales de los habitantes originarios [2].

El segundo requisito importante para establecer la datación por medio de anillos de árbol es que se trate de especímenes que puedan datarse de modo cruzado. Como ya dijimos anteriormente, para la datación cruzada las muestras deben poseer anillos claramente definidos que tengan fluctuaciones de espesor a través de toda la serie. Los anillos —anuales o múltiples— deben ser resultado de una periodicidad de los factores de crecimiento que inducen respuestas similares (mensurables en varios grosores de anillo) en árboles que pertenecen a la región, y el espécimen debe contener anillos suficientes para permitir identificaciones positivas de pautas semejantes en piezas distintas.

Es posible obtener fechas relativas en tanto las muestras de anillos de árbol se hallen disponibles en un determinado lugar y los especímenes se puedan datar cruzadamente entre sí. Pero el establecimiento de fechas absolutas es otra cosa. Aunque puedan fundirse en un compuesto total especímenes datados como relativamente contemporáneos, formando así una cronología flotante, aún faltaría elaborar una cronología conocida que se remonte tanto en el tiempo que se superponga y se date cruzadamente con el segmento desconocido, a fin de obtener una fecha absoluta. Esto se conoce con el término de formación de la cronología (fig. 33) y, aunque su concepción es sencilla, su realización generalmente requiere considerable tiempo y esfuerzo. Se comienza con muestras modernas de fecha conocida y sucesivamente se datan cruzadamente especímenes cada vez más antiguos y se incorporan a una matriz, hasta que se establece una cronología de largo alcance de anillos de árbol. Según los materiales de que se disponga, este procedimiento puede requerir muchos años para completarse en el caso de que sea virtualmente posible. Una vez construida una cronología clave datada con exactitud, entonces las pautas de anillos contenidos en las muestras de edad desconocida pueden datarse cruzadamente con la cronología clave y recibir fechas absolutas.

COMPILACION Y ANALISIS

La finalidad básica de la compilación de especímenes de anillos de árbol es conservar la colección más completa posible de series de anillos. Una sección transversal

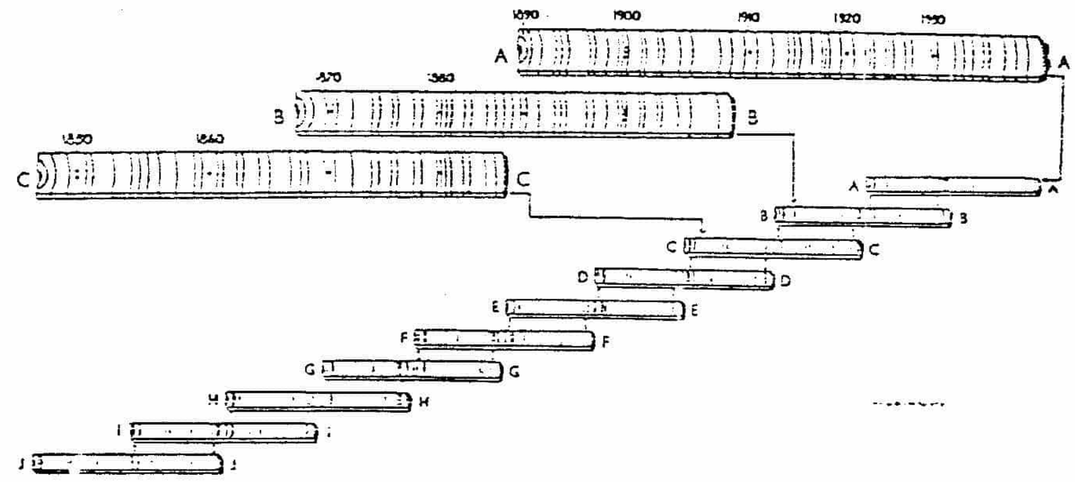

Fig. 33. Formación de la cronología. A: Muestra del radio de un árbol vivo cortado en 1939 después de la estación de crecimiento. B-J: Especímenes obtenidos en antiguas casas y en ruinas cada vez más antiguas. Las pautas de anillo concuerdan y se superponen con los de tiempos prehistóricos. (Según Stallings [84].)

completa es preferible a una muestra del centro o del radio, aunque a veces no resulte práctico obtener un corte transversal completo porque se trate de árboles vivos o de estructuras arqueológicas que deben conservarse. Se han desarrollado diversos tipos de instrumentos para investigar el centro del árbol, entre ellos el taladro con gradación, hecho en Suecia, diseñado para obtener muestras de árboles vivos de madera blanda; el taladro tubular, manejado con berbiquí, con su sierra de dientes circulares, que ha demostrado ser tan efectivo con las vigas prehistóricas [12], y el extractor diseñado por Bowers [6], de tracción mecánica y de mucho alcance en dirección al centro del árbol. Constantemente se experimentan nuevos tipos de instrumentos para obtener muestras de piezas para los museos y materiales arqueológicos.

Las técnicas especializadas para la compilación de madera y carbón de excavaciones están tan íntimamente relacionadas con las condiciones de un lugar determinado que no resulta práctico describirlas todas. De todos modos debe cuidarse mucho, en general, que los anillos exteriores no sufran deterioro o pérdidas. El carbón y ciertos tipos de madera requieren muchas veces la aplicación inmediata de algún preservativo. El uso de una solución de gasolina saturada de parafina es a la vez efectivo y económico, pero puede haber otros productos igualmente útiles. Es preciso conocer los procedimientos arqueológicos normales para el manejo de cualquier artefacto delicado o de valor, y también es de importancia vital anotar detalladamente la proveniencia, fisiología y ecología de la colección [41,2].

Para poder comenzar el verdadero estudio de un espécimen es preciso cepillarlo para dejar al descubierto su estructura celular y que las series de anillos puedan ser examinadas con claridad. Nunca se insistirá suficientemente en la importancia de este paso, puesto que se requieren superficies adecuadas que son absolutamente esenciales en el proceso de obtención de fechas exactas. Tanto el carbón como las maderas suaves o descompuestas resultan fáciles de preparar por medio de una cuchilla de navaja de afeitar, técnica rápida, aunque bastante difícil de dominar. En secciones

pequeñas se pueden obtener excelentes superficies por medio de un micrótomo corredizo; en cambio, para secciones transversales largas se recomienda mucho el lijado. Aunque existen pequeñas pulidoras manuales que emplean series de diferentes grados de papel de lija y que realizan un trabajo aceptable, hay en la actualidad aparatos lijadores especialmente diseñados para producir superficies transversales completas que satisfagan las exigencias más estrictas. Uno de estos aparatos, la máquina pulidora Bowers-Vossbrinck, aplica el principio de «abrasión a todo lo largo» y usa correas cortantes de 30 cm de ancho.

Una exposición notable sobre las prácticas de preparación de colecciones y muestras se encuentra en las obras de los siguientes autores: Douglass [16-20], Glock [41], Hall [45], Scantling [77] y Smiley [81].

El primer objetivo del análisis de especímenes de anillos de árbol con propósitos cronológicos es el de establecer datación cruzada entre las muestras. Cuando se trata de obtener una fecha absoluta el proceso se lleva un paso más adelante y los especímenes ya datados cruzadamente se verifican con una cronología tipo, la que a su vez se obtuvo con piezas previamente datadas cruzadamente. El problema se reduce, sin embargo, en su aspecto más sencillo al registro de anillos individuales y a su comparación con otras series. En consecuencia, lo que primero se requiere es la identificación positiva de cada uno de los visibles aumentos de tamaño dentro de la muestra. Para que pueda obtenerse la datación cruzada deben reconocerse antes los anillos que se presentan solamente en una porción de su circunferencia, los llamados «falsos anillos» o «líneas», que no representan una estación de crecimiento completa, anillos microscópicos y otras anomalías. El tema de la «lectura» de anillos ha sido desarrollado detalladamente por Douglass [20], Glock [41] y Schulman [80]. Problemas adicionales, como la ausencia total de anillos (véanse las referencias citadas antes), sólo pueden resolverse a lo largo del proceso mismo de la datación cruzada.

Todos los distintos sistemas de datación por medio de los anillos de árbol —y son varios los que se utilizan hoy en todo el mundo— no son más que maneras de describir pautas de crecimiento y de establecer dataciones cruzadas. En la mayoría de los casos las diversas técnicas han sido adoptadas por ser particularmente adecuadas a las condiciones locales de crecimiento del árbol y a ciertos tipos de cronologías de anillos. Hablaremos aquí solamente del sistema Douglass, por ser el más conocido de todos y, por tanto, básico para la mayoría de los métodos creados después. Se pueden encontrar mayores explicaciones sobre este sistema en Bannister y Smiley [3], Douglass [11,12,20], Glock [40,41], Schulman [80] y Stallings [84].

El método Douglass —que ha sido aplicado con singular éxito en el sudoeste norteamericano— es fundamentalmente útil en lugares donde los árboles son extremadamente sensitivos y constituyen la principal fuente de especímenes fechables, y en donde a menudo es muy alto el grado de correlación entre los registros de anillos. La técnica pone en relieve, primero, aquellos anillos que se desvían de la normalidad —anillos evidentemente angostos o anchos— y, segundo, la relación interna de esos anillos con las series totales. La comparación de un registro de anillos con otro se lleva a cabo de tres maneras: el método de la memoria, la trama del armazón y la medición precisa del ancho de los anillos. El método de la memoria requiere simplemente la memorización de todas las pautas de anillo que se han encontrado. Resulta, por supuesto, una manera muy rápida y conveniente de comparar los especímenes, pero requiere un profundo conocimiento de la cronología local. Para el investigador experimentado, sin embargo, el método de la memoria —suplementado con muestras

comparables de madera— resulta quizá el más satisfactorio para la verificación de la datación cruzada.

La trama del armazón ha demostrado ser un instrumento extraordinariamente útil [41,84] cuando se trabaja con grandes cantidades de material o en terreno desconocido en el tiempo o en el espacio. El método de la trama del armazón, que consiste básicamente en una gráfica especializada que describe la anchura relativa de los anillos diagnósticos (fig. 34), tiene la ventaja de estar libre de toda tendencia a especificar edad dentro del espécimen, ya que el tamaño de cada anillo se juzga en relación con los anillos vecinos (compárese la fig. 34 A,B con la fig. 35 A,B). De este modo las tramas del armazón de una escala estándar pueden compararse rápidamente con otras y, si se observa que existe la datación cruzada, las tramas pueden combinarse para producir una representación fácilmente comprensible de la cronología del sitio o de la cronología local (fig. 34A). El método de la trama del armazón se considera, sin embargo, sólo como un paso preliminar en el proceso de la datación y debe usarse con cautela porque registra solamente las características más salientes de una serie de anillos y no la totalidad de los datos sobre los que descansa la cronología.

Se han creado diversos aparatos de medición con el propósito de registrar exacta-

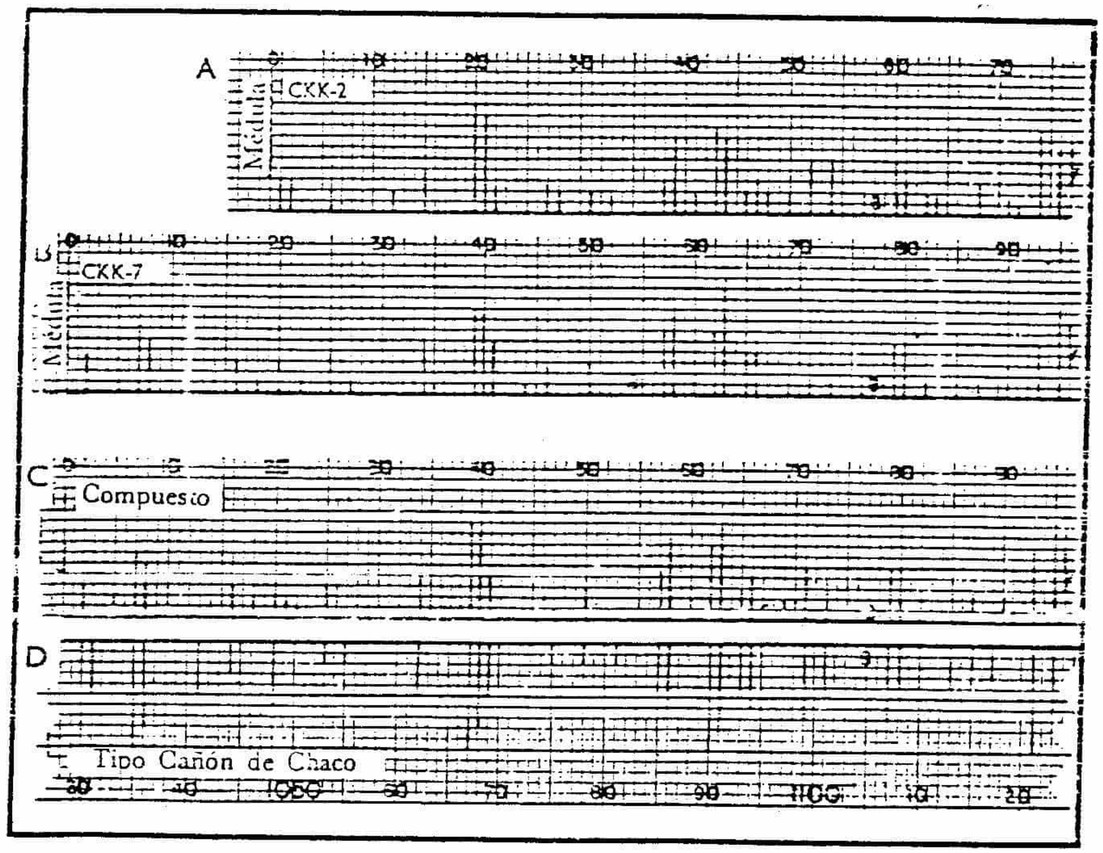

Fig. 34. Comparación de tramas de armazón. A y B: Tramas de armazón de la serie de anillos en dos vigas de la ruina prehistórica de Kin Kletso, Cañón de Chaco, Nuevo México, C: Trama compuesta de A y B. D: Cronología-tipo regional en el Cañón de Chaco. Combinación de C con D que establece datado tentativo de especímenes (véase el texto). La longitud de cada barra vertical en la gráfica es inversamente proporcional a la anchura relativa del anillo; no se registra la anchura media de los anillos; los anillos extra largos se señalan con la letra B.

mente la anchura a todo lo largo del radio. Algunos de los instrumentos de medición son los siguientes: el Graighead-Douglass [19], el Dendro-Cronógrafo De Rouen, el Addo-X diseñado por el Instituto Sueco de Investigaciones Forestales [22] y la máquina alemana elaborada en el Instituto de Botánica Forestal de Munich [54]. Después que los valores medidos se llevan al entramado gráfico (fig. 35) pueden realizarse fácilmente comparaciones, tanto visuales como estadísticas. Sin embargo, como intervienen valores absolutos, frecuentemente se requiere una uniformación o corrección de los efectos de la edad antes de que el material pueda utilizarse para el estudio de la relación entre clima y crecimiento. Respecto a la introducción de la línea de dirección de la edad y a los procesos de uniformación que emplea el sistema Douglass han escrito los siguientes autores: Schulman [79,80] y Smiley, Stubbs y Bannister [83]. Producida la uniformación, las curvas diseñadas expresan valores anuales como porcentajes de desviación del crecimiento medio. Fritts (comunicación personal)

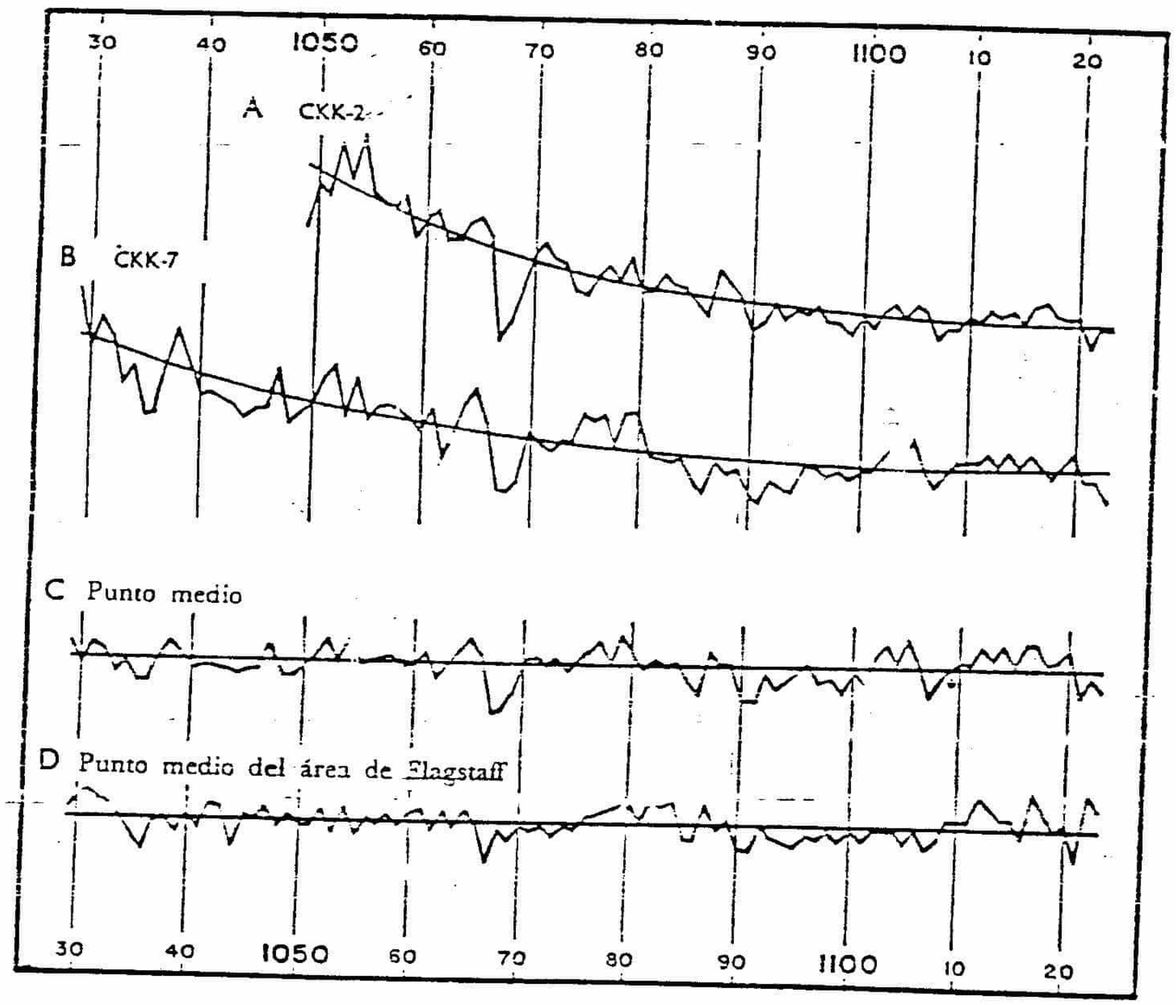

Fig. 35. Comparación de curvas de medición. A y B: Medición de anchura de los anillos (con líneas uniformadas sobrepuestas) de la serie de anillos en dos vigas de la ruina prehistórica de Kin Kletso, Cañón de Chaco, Nuevo México. C: Forma de uniformación de A y B con la anchura de anillos expresada como porcentajes de desviación del crecimiento promedio. D: Punto medio del área de Flagstaff en forma estándar. Comparación de C con D que lleva al datado absoluto de los especímenes. (Véase el texto.)

está dedicado hoy a la adaptación de procesos de uniformación a las técnicas de las computadoras electrónicas.

Otro método fechador de anillos de árbol, que se usó alguna vez en el sudoeste de los Estados Unidos, es el que desarrolló Gladwin [38, 39]. Este sistema dependía de una variación construida estadísticamente del método de trama del armazón y registraba todos los anillos. El sistema Douglass se ha aplicado en Alaska, Turquía, Egipto y Nueva Zelanda. En los climas más húmedos de Europa y en Escandinavia la falta de árboles muy sensitivos con fuertes tendencias a la datación cruzada excluye el uso del Sistema Douglass. En esos casos se han elaborado varios métodos de análisis estadístico que requieren coeficientes de variaciones paralelas y opuestas, trazado logarítmico y aparatos mecánicos especiales para comparar automáticamente las series, así como otras innovaciones.

Sea cual fuere el sistema de datado por anillos de árbol que se use, la validez de los resultados depende de la precisión con que pueda realizarse la datación cruzada. La identificación absoluta puede asegurarse utilizando el método de pronóstico y verificación, siempre que se investiguen las características adicionales de los anillos y que se comparen después de llevadas a cabo las correlaciones entre los *tests*. Cuando se ha obtenido un número suficiente de verificaciones positivas la posibilidad de que se presenten correlaciones casuales se vuelve cada vez más remota, con lo que queda prácticamente asegurada una mayor exactitud para la datación cruzada.

LA INTERPRETACION CRONOLOGICA DE LOS ANILLOS DE ARBOL

Una vez establecida una fecha por medio de los anillos de árbol su significado arqueológico puede variar enormemente. Después de todo, la datación de anillos de árbol sólo puede aplicarse con autoridad al propio espécimen y puede estar —o no estar— directamente en relación con el contexto arqueológico en que se originó el espécimen. En consecuencia, existe un problema básico de relación en el tiempo que se plantea entre la fecha del espécimen y la manifestación arqueológica que se está datando.

En los lugares en que el datado por anillos de árbol se ha usado en forma extensiva —como en Alaska y en el sudoeste de los Estados Unidos— se han vuelto cada vez más necesarias las técnicas refinadas de interpretación de fechas. El esquema que damos a continuación, por tanto, se basa, en su mayor parte, en las condiciones arqueológicas que se han dado en el sudoeste norteamericano, pero debido a su naturaleza general las reglas de interpretación que aquí están implícitas deberán poder aplicarse dondequiera que sea aplicable la datación por medio de anillos de árbol.

Los errores de interpretación habituales con que tropieza el arqueólogo pueden clasificarse en cuatro categorías generales:

Tipo 1. La asociación entre el espécimen que se ha datado por anillos de árbol y la manifestación arqueológica que se está datando es directa, pero el espécimen mismo proviene de un árbol que murió o al que cortaron antes de ser usado en la situación de que se trata.

Tipo 2. Las asociación entre el espécimen que se ha datado por anillos de árbol y la manifestación arqueológica que se está datando no es directa, porque el espécimen ha sido usado antes del rasgo que se está datando.

Tipo 3. La asociación entre el espécimen que se ha datado por anillos de árboles y la manifestación arqueológica que se está datando es directa, pero el espécimen mismo representa una incorporación posterior a un rasgo ya existente.

Tipo 4. La asociación entre el espécimen que se ha datado por anillos de árbol y la manifestación arqueológica que se está datando no es directa, porque el espécimen ha sido usado después que el rasgo que se está datando.

Si, por ejemplo, una fecha de anillos de árbol obtenida del maderamen de un techo se usara para establecer el momento de la construcción del mismo, este sería un ejemplo de asociación directa; en tanto que si la misma fecha se usara para fijar la edad de los objetos contenidos en la habitación datada, esta sería una aplicación indirecta. Es muy posible, por supuesto, encontrar un quinto tipo de error generalizado, que vendría a ser una variante de los tipos 2 y 4 y que se origina por la presencia de especímenes intrusos en medios arqueológicos inconexos. Sin embargo, como este problema constituye un asunto estrictamente arqueológico no será tratado aquí.

El error de tipo 1, en el que la asociación es directa, pero el datado temprano, lo causa habitualmente la presencia de vigas usadas de forma repetida. A juzgar por la situación del sudoeste norteamericano el uso repetido de vigas de construcción era una práctica extremadamente común, y no llama la atención si se considera que a menudo era mucho más fácil aprovechar viejos leños de estructuras cercanas abandonadas que derribar árboles desarrollados con un hacha de piedra. Evidentemente, el uso de vigas en estructuras posteriores puede llevarnos a interpretaciones erróneas. Aun en el caso en que la datación por anillos de árbol derivado del propio espécimen fuera perfectamente correcto, su aplicación a la estructura de donde provenía el espécimen puede dar como resultado el asignar una fecha demasiado temprana a la construcción. El uso local de árboles derribados por el viento y de leños que llegaban flotando, si no se reconoce como tal, introduciría una tendencia similar a la sobreestimación de la edad del rasgo que incluyera este tipo de madera. Aun el apilamiento de vigas antes de ser usadas introduciría un error permanente —aunque leve— de la misma índole.

En regiones donde la madera era relativamente escasa es fácil imaginarse los problemas causados por el uso de madera antigua. Cualquier artefacto de madera bien puede tender a adquirir la categoría de mueble antiguo, y en consecuencia las fechas así obtenidas podrían incurrir en un error del tipo 1. Si se trata de un artefacto elaborado el propio proceso de dar forma a la madera contribuiría a la magnitud del error.

Cuando la asociación no es directa, pero la datación es temprana, nos encontramos frente a un error del tipo 2. Esto se produce, generalmente, como resultado del intento de datar artefactos contenidos en una habitación aplicando las fechas de anillos de árbol deducidas de los leños usados para construir la habitación. La naturaleza del problema es básicamente arqueológica y se resuelve junto con la cuestión de la relación temporal entre la habitación y los objetos que contiene. En sitios de ocupación precaria el problema puede ser de menor significación, en tanto que en sitios de ocupación más prolongada el problema puede volverse crítico. Muy a menudo se han hecho intentos de datar con este método un elemento determinado (del tipo de los cacharros, por ejemplo) basándose en las vigas datadas encontradas en la habitación, las que muy bien pueden haber sido labradas siglos antes de que fuera producido el elemento en cuestión. En otro caso, las fechas de anillos de árbol pueden ser correctas y su aplicación al datar la construcción de la habitación puede ser correcta también,

pero el asignarla a los contenidos de la habitación puede conducir a interpretaciones extremadamente engañosas. También es teóricamente posible encontrarse con el error de tipo 2 cuando las fechas de anillos de árbol de no-construcciones obtenidas de especímenes encontrados en basureros antiguos se aplican erróneamente a rasgos posteriores encontrados en construcciones.

En el error tipo 3 la asociación es directa, pero la datación es tardía. A través del curso de los años una estructura prehistórica muy bien puede haberse debilitado y requerir reparación. Si se reemplaza una determinada viga del techo quizá siglos después de la construcción del techo original una datación de anillos de árbol deducido de esa viga representaría la fecha de la reparación y no la de la construcción de la habitación. En algunos casos tales fechas —cuando se han reconocido— tienen una ventaja, ya que pueden arrojar luz sobre la duración de la ocupación de una estructura determinada. Las fechas tomadas de edificios que han sido abandonados y luego reocupados y remodelados están sujetas a errores semejantes.

Finalmente, el error de tipo 4 sucede cuando la asociación no es directa, pero el datado es tardío. En su mayor parte este tipo de error es resultado de la aplicación a rasgos de construcción de fechas tomadas de especímenes de no-construcción. Por ejemplo, el carbón de lugares donde ha habido fuego y los especímenes de madera o de carbón que se encuentran en el relleno de una habitación o en los montículos de basura posiblemente podrían dar fechas más recientes que los rasgos arquitectónicos con los que están vagamente asociados. Por otra parte, las fechas de no-construcciones usadas juiciosamente junto con fechas de construcción de una ruina particular pueden muy bien indicar, por lo menos, un período mínimo de ocupación.

Aunque los errores usuales de interpretación pueden identificarse con uno o más de los cuatro tipos de errores enumerados, no debe suponerse que las situaciones que producen estos errores específicos mencionados sean las únicas que pueden presentarse. Esto se debe a que los cuatro tipos de erores cronológicos pueden ocurrir, ya sea independientemente o en combinación unos con otros, y en este último caso la magnitud del error producido puede aumentar o tender a anularse. Cada problema de datación presenta, por lo tanto, su propio y único conjunto de circunstancias y es necesaria la comprensión de las dos condiciones que se presentan —la dendrocronológica y la arqueológica— para que se considere satisfactoria una solución.

Si pareciera, por los planteamientos anteriores, que las oportunidades de error asociadas al problema de la relación con el tiempo son tan numerosas que arrojan dudas sobre la practicabilidad del datado por medio de los anillos de árbol, debe recordarse que la extensión del peligro comprendido es inversamente proporcional al número de especímenes datados para cualquier rasgo determinado. Si una estructura única, por ejemplo, produce sólo una fecha, su interpretación está definitivamente sujeta a los tipos de error que enumeramos. Si esta misma estructura produce 100 especímenes datados quedarán enormemente reducidas las oportunidades de hacer interpretaciones falaces. Particularmente pueden corregirse los errores de las variedades del tipo 1 y del tipo 3 usando conjuntos de fechas de anillos de árbol. La premisa fundamental es que si hay un número de fechas de anillos de árbol derivadas de una estructura o rasgo arquitectónico únicos, que se agrupan alrededor de un solo punto en el tiempo entonces las fechas que se desvían del conjunto representan vigas usadas repetidamente o reparadas, según sean más tempranas o más tardías que la mayoría. El mismo razonamiento, con algunas modificaciones, se aplica a grupos de fechas de no-construcción. De la misma manera resulta útil el agrupamiento de rasgos arqueo-

lógicos o de características al enfrentarse a errores de las variedades del tipo 2 y del tipo 4. Debidamente aplicadas, las técnicas de agrupamiento en conjuntos son poderosos instrumentos para la solución de problemas, pero de uso limitado en los casos en que hay insuficiencia de datos.

Surge otra complicación en la interpretación del datado por anillos de árbol cuando la condición de la parte externa del espécimen datado indica que los anillos exteriores han desaparecido durante el proceso de dar forma al objeto, o por descomposición, quema o la acción de alguna otra fuerza erosiva. Se han elaborado también para este caso varias técnicas que tienden a minimizar las potenciales fuentes de error. Ambos problemas —el de la relación en el tiempo y el de los anillos exteriores— han sido tratados detalladamente por el autor en otra publicación [1].

LAS TRES PRINCIPALES APLICACIONES ARQUEOLOGICAS DE LOS DATOS DE ANILLOS DE ARBOL

Un resumen de las aplicaciones arqueológicas de la datación por el método de anillos de árbol nos lleva a la elaboración de un conveniente esquema de clasificación triple: Primero, están aquellas aplicaciones en que la cronología, sea relativa o absoluta, constituye la principal consideración. Segundo, están aquellas interpretaciones que dependen de las historias ambientales impresas en las propias series de anillos. Y tercero, está el tipo de información fundamentalmente no cronológica que surge de la yuxtaposición de fechas relacionadas y que da lugar a inferencias de naturaleza cultural.

La aplicación más común de los datos arqueológicos de anillos de árbol es, con mucho, la que se hace en el campo de la cronología, y el mejor ejemplo de su uso se encuentra en el sudoeste norteamericano. Actualmente, en este campo donde hay tanta concentración de sitios arqueológicos, existen muchas dendrocronologías regionales que resultan aplicables a zonas geográficas bastante extensas, la más remota de las cuales se remonta al año 59 A. C. Además, se han desarrollado cronologías más localizadas para ayudar a datar materiales procedentes de localidades específicas.

El Laboratorio de Investigación de Anillos de Arbol de la Universidad de Arizona, en Tucson, sirve de depósito central para las más importante colecciones de anillos de árbol del sudoeste y habitualmente alberga algo así como 125 000 especímenes arqueológicos individuales. Estas piezas proceden de unos 2 000 sitios prehistóricos, 800 de los cuales han producido por lo menos una muestra datada. Aunque es difícil determinar cantidades precisas se han datado aproximadamente 10 000 especímenes arqueológicos separados procedentes del sudoeste y de regiones adyacentes.

La historia cronológica del desarrollo del fechado arqueológico de anillos de árbol en el sudoeste ha sido dada por Schulman [80] y un enfoque más amplio se encuentra en las páginas de *Tree-Ring Bulletin* (1934 y números siguientes [86]). Sería imposible hacer una lista de todos los trabajos dedicados a la datación de anillos de árbol en la región; pero hay publicaciones de recientes resúmenes de fechas hechas por Smiley [82], por Smiley, Stubbs y Bannister [88], y por Bannister [1].

Como resultado de una investigación intensiva sobre anillos de árbol llevada a cabo en el sudoeste existe una mejor comprensión de la prehistoria de esa zona, desde el punto de vista cronológico, que en ninguna otra parte del mundo. Glock [43], sin embargo, ha puesto en duda la exactitud de los calendarios arqueológicos de anillos de árbol en el sudoeste y estima que debe haber un error del 5 por 100. Otros investigadores, incluyendo al autor, confían en la exactitud esencial de las dendrocronologías del sudoeste, y este punto de vista está siendo confirmado continuamente por el proceso de dataciones cruzadas de las actuales investigaciones.

Fuera del sudoeste hay numerosas localidades en que se ha aplicado el método de datación por anillos de árbol. Los resultados van desde las fechas absolutas bien sustentadas de Alaska y Alemania hasta los análisis muy preliminares que se practicaron en especímenes de Turquía y Egipto. No todos los estudios de que damos cuenta aquí han recibido, sin embargo, la aceptación incondicional de otros investigadores. Bell [3] ha establecido fechas para el Sitio de Kincaid, en Illinois; cinco cabañas de troncos de la cuenca del Mississippi han sido datadas por Hawley [47]; Will [93-95] ha deducido fechas de diversos sitios de Dakota del Norte y del Sur; Weakly [89,90] ha presentado tres sitios datados en las Grandes Llanuras, y Lyon [56] ha datado madera conservada en Nueva Inglaterra. Caldwell [7] ha sintetizado los esfuerzos que se realizan actualmente en la cuenca del río Missouri; Bell ha hecho una síntesis del Valle del Mississippi [4], y Weakly [91] ha hecho lo mismo respecto a Nebraska. Un proyecto en realización, pero sobre el que todavía no tenemos informes, es el que lleva a cabo el autor con especímenes del sitio de Casas Grandes, en Chihuahua, México, y que ha dado como resultado el establecimiento de una cronología fluctuante de 500 años.

Los muchos sitios datados de Alaska y la ubicación de los orígenes de leños que llegaban flotando se deben principalmente al trabajo de Giddings [26-29,32,34,36], Oswalt [65-67] y Van Stone [87,88]. Schulman [78] describe el trabajo de datación llevado a cabo por Aandstad en Noruega sobre seis estructuras tardías, cuyas fechas aproximadas ya se conocían. Ording [64] informa sobre una cronología flotante basada en cientos de troncos procedentes de Raknehaugen, al sudeste de Noruega, y Eidem [21] dató vigas de ocho casas en Flesberg. Hóeg [48] ha hecho un resumen del trabajo de datación realizado en Noruega.

Schove [74,75], así como también Schove y Lowther [76], han documentado la datación dendrocronológica realizada en la Gran Bretaña, en tanto que Zeuner [98] informa de trabajos sobre madera del siglo XVII de la ciudad de Londres y sobre postes de la Edad de Beaker situados cerca de Clacton-on-Sea. Huber y sus colaboradores en Alemania han conseguido crear una cronología relativa basada en empalizadas hechas de troncos en un fuerte de la Edad del Bronce situado en Wasserburg o Bachau [50,51]. Otras cronologías flotantes han sido deducidas para los sitios neolíticos de Thaingen Weier y Egolzwil III, en Suiza, y Ehrenstein, cerca de Ulm, en Alemania meridional, y para el sitio de la Edad del Bronce de Zug-Sumph, en Suiza [51]. Se estableció una datación absoluta en vigas de la ciudad medieval de Zeigenhain, cerca de Kassel, en Alemania [50]. Hay dos resúmenes hechos recientemente por Dobbs [10] y Zeuner [98] sobre el trabajo europeo con anillos de árbol.

Zamotorin [97] informa sobre una cronología prehistórica flotante de anillos de árbol en Rusia, en tanto que los documentos de Kohara [55] prueban su intento de datar una pagoda de cinco pisos en Japón. El Medio Oriente parecería potencialmente un campo excelente para el desarrollo de cronologías, aunque fueran relativas. Aunque se relacionan con Egipto problemas de importación y uso repetido de maderas, las investigaciones actuales que el autor realiza sobre especímenes arqueológicos de anillos de árbol en Turquía y en Egipto indican que la datación cruzada existe en regiones específicas y que hay una posibilidad definida de establecer largas cronologías relativas. La datación por medio de anillos de árbol en Nueva Zelanda es aparentemente impracticable debido a la falta de fechas cruzadas [5].

La relación entre el crecimiento del árbol y el clima ha sido tema de muchos estudios dendrocronológicos, y ciertamente la información sobre condiciones ambientales del pasado, detectada mediante los anillos de árbol, constituye una contribución muy importante al conocimiento arqueológico. En su totalidad, sin embargo, el estado actual de las investigaciones sobre anillos de árbol muestra que debe procederse con cautela al hacer tales interpretaciones. El crecimiento del árbol mismo es un mecanismo extremadamente complejo, y los diversos factores externos e internos que influyen sobre ese crecimiento y son causante de la existencia de la datación cruzada entre los diversos árboles todavía están muy lejos de ser perfectamente comprendidos. Pueden aislarse ciertos controles dominantes, tales como la temperatura y la humedad del suelo, pero en la actualidad es imposible obtener una evaluación cuantitativa —aunque sólo fuera de estos factores— en tiempos pasados. En términos relativos puede ser posible hablar de sequías y de otras fluctuaciones climáticas, pero muy a menudo el arqueólogo ha echado mano de esas indicaciones relativas y las ha utilizado para explicar situaciones arqueológicas muy intrincadas y comportamientos culturales muy complejos. Se han dado pasos agigantados en la comprensión del significado de la dendrocronología [80], pero todavía las más recientes técnicas matemáticas de análisis continúan demostrando que no se ha llegado a obtener una respuesta final [25].

Una tercera aplicación de los datos de anillos de árbol es en la relación interna entre fechas asociadas, más que por su ubicación en el tiempo. Por ejemplo: Haury [46], entre otros, demostró el proceso exacto del desarrollo de un pueblo multihabitacional en Arizona. Si tuviéramos a mano suficientes datos comparables sería posible identificar prácticas de construcción motivadas culturalmente entre los pueblos primitivos. En forma similar, Huber detectó frecuentes períodos de construcción en las casas de Ehrenstein, cerca de Ulm, aumentando así su comprensión de las condiciones económicas y tecnológicas de la época. Bannister [1], partiendo de un estudio de fechas detalladas deducidas de las vigas de un techo único, consiguió llegar a la conclusión de que la población prehistórica del Cañón de Chaco, al noroeste de Nueva México, amontonaba en pilas sus vigas antes de usarlas. También, por medio del agrupamiento de fechas deducidas de las vigas usadas de forma repetida en una estructura posterior, estuvo [1] en condiciones de inferir la existencia previa de un edificio que no había sido descubierto por medio de las técnicas arqueológicas usuales.

No cabe duda de que los resultados de la investigación de los anillos de árbol continuará conservando su importancia en el campo de la arqueología. La expansión de este método a regiones todavía inexploradas en ese sentido, el mejoramiento de nuestros conocimientos sobre el significado de los anillos como indicadores climáticos y la aplicación de las fechas de anillos de árbol a problemas de estabilidad cultural y de cambio constituyen campos en los que es de esperar que sucedan rápidos progresos en el futuro.

REFERENCIAS

1 Bannister, B.: *Tree-Ring Dating of Archaeological Sites in the Chaco Canyon Region, New México;* MS, tesis doctoral, Univ. de Arizona, 1959.
2 —— y Smiley, T. L.: Dendrochronology, en Smiley, T. L. (ed.) «Geochronology, with Special Reference to Southwestern United States», *Univ. of Arizona Phys. Sci. Bull 2,* 177-95, 1955.

3 Bell, R. E.: Dendrochronology at the Kincaid Site, en Cole, F. C., *Kincaid, A Prehistoric Illinois Metropolis*, apéndice I. Chicago, 1951.
4 —— Dendrochronology in the Mississippi Valley, en Griffin, J. B. (ed.) *Archaeology of Eastern United States*, 345-51, Chicago, 1952.
5 Bell, V., y Bell, R. E.: *Tree- Ring Bulletin 22*, núms. 1-4, 7-11, 1958.
6 Bowers, N. A.: *Ibid. 23*, núms. 1-4, 10-13, 1960.
7 Caldwell, W. W.: *Ibid. 23*, núms. 1-4, 14-17, 1960.
8 DeBoer, H. J.: *Proc. Koninkl. Nederl. Akademie Van Wetenshappen*, ser. B., núm. 54, 194-209, 1951.
9 Dobbs, C. G.: *Forestry 24*, núm. 1, 22-35, 1951.
10 —— *New Scientist 122*, 1213, 1960.
11 Douglass, A. E.: Climatic Cycles and Tree-Growth, vol. 1; *Carnegie Inst. of Washington Pub.* 289, 1919.
12 —— *Ibid.* vol. 2, 1928.
13 —— *Nat. Geog. Mag. 56*, 736-70, 1929.
14 —— *Nat. Geog. Soc., Contributed Papers, Pueblo Bonito Series*, núm. 1, 1935.
15 —— Climatic Cycles and Tree-Growth, vol. 3; *Carnegie Inst. of Washington Pub*, 289, 1936.
16 —— *Tree-Ring Bulletin 7*, núm. 1, 1940.
17 —— *Ibid 7*, núm. 4, 1941a.
18 —— *Ibid 8*, núm. 2, 1941b.
19 —— *Ibid 10*, núm. 1, 1943.
20 —— *Laboratory of Tree-Ring Research Bull.*, núm. 3, Univ. de Arizona, 1946.
21 Eidem, P.: *Tidsskrift for Skogbruk 64*, núm. 2, 96-116, 1956.
22 Eklund, B.: *Meddelanden Statens Skogsforskningsinstitut 38*, núm. 5, 1-77, 1949.
23 —— *Tree-Ring Bulletin 21*, nos. 1-4, 21-24, 1956.
24 Ferguson, C. W.: *Kiva 25*, núm. 2, 24-30, 1959.
25 Fritts, H. C.: *Forest Science 6*, núm. 4, 334-49, 1960.
26 Giddings, J. L., Jr.: *Tree-Ring Bulletin 5*, núm. 2, 16, 1938.
27 —— *Ibid 7*, núm. 2, 10-14, 1940.
28 —— *Laboratory of Tree-Ring Research Bull*, núm. 1, Univ. de Arizona, 1941.
29 —— *Tree-Ring Bulletin 9*, núm. 1, 2-8, 1942.
30 —— *Ibid 9*, núm., 4, 26-32, 1943.
31 —— *Ibid 13*, núm. 4, 26-29, 1947.
32 —— *Ibid 14*, núm. 4, 26-32, 1948.
33 —— *Ibid 18*, núm. 1, 2-6, 1951.
34 —— *Proc. Am. Phil. Soc. 96*, núm. 2, 129-42, 1952.
35 —— *Tree-Ring Bulletin 20*, núm. 1, 2-5, 1953.
36 —— *Ibid 20*, núms. 3-4, 23-25, 1954.
37 Gindel, J.: *Ibid 11*, núm. 1, 6-8, 1944.
38 Gladwin, H. S.: Methods and Instruments for Use in Measuring Tree-Rings, *Medallion Papers*, núm. 27, 1940a.
39 —— Tree-Ring Analysis, Methods of Correlation, *Medallion Papers*, núm. 28, 1940b.
40 Glock, W. S.: *Pan-American Geologist 60*, 1-14, 1933.
41 —— Principles and Methods of Tree Ring Analysis, *Carnegie Inst. of Washington Pub.* 486, 1937.
42 —— *Botanical Review 21*, núms. 1-3, 73-188, 1955.
43 —— Dendrochronology, en *McGraw-Hill Encyclopedia of Science and Technology*, Nueva York, 58, 1960.
44 —— Studhalter, R. A. y Agerter, S. R.: Classification and Multiplicity of Growth Layers in the Branches of Trees at the Extreme Lower Forest Border, *Smithsonian Miscellaneous Collections 140*, núm. 1, 1960.
45 Hall, E. T., Jr.: *Tree-Ring Bulletin 12*, núm. 4, 26-27, 1946.
46 Haury, E. W.: The Canyon Creek Ruin and the Cliff Dwellings of the Sierra Ancha, *Medallion Papers*, núm. 14, 1934.
47 Hawley, F. M.: *Tree-Ring Analysis and Dating in the Mississippi Drainage*, Chicago, 1941.
48 Hóeg, O. A.: *Tree-Ring Bulletin 21*, núms. 1-4, 2-15, 1955.
49 Holmsgaard, E.: *Ibid 21*, núms. 1-4, 25-27, 1956.
50 Huber, B., y Jazewitsch, W. von: *Ibid. 21*, núms. 1-4, 28-30, 1956.
51 —— —— *Flora 146*, núm. 3, 445-71, 1958.

52 Hustich, I.: *Acta Botanica Fennica 42*, 1948.
53 —— *Acta Geographica 15*, núm. 3, 1956.
54 Jazewitsch, W. von, Bettag, G. y Siebenlist, H.: *Holz als Roh-und Werkstoff 15*, 241-4, 1957.
55 Kohara, J.: *Kobunkazai no Kagaku 15*, 12-17, 1958.
56 Lyon, C. J.: *Science 90*, 419-20, 1939.
57 —— *Tree-Ring Bulletin 13*, núm. 1, 2-4, 1946.
58 —— *Ecology 30*, núm. 4, 549-52, 1949.
59 —— *Tree-Ring Bulletin 20*, núm. 2, 10-16, 1953.
60 McGregor, J. C.: *Museum of Northern Arizona Bulletin*, núm. 13, 1938.
61 Messeri, A.: *Nuovo Giornale Botanico Italiano 60*, núms. 1-2, 251-86, 1953.
62 Mikola, P.: *Tree-Ring Bulletin 21*, núms. 1-4, 16-20, 1956.
63 Nishioka, H.: *Proceedings of the Seventh Pacific Science Congress 3*, 118-21, 1952.
64 Ording, A.: *Meddelanden Norske Skogforsoksvesen 8*, núm. 27, 91-130, 1941.
65 Oswalt, W. H.: *Tree-Ring Bulletin 15*, núm. 1, 7-8, 1949.
66 —— *Ibid 18*, núm. 1, 6-8, 1951.
67 —— *Anthropological Papers of the University of Alaska 1*, núm. 1, 47-91, 1952.
68 —— *Tree-Ring Bulletin, 22*, núms. 1-4, 16-22, 1958.
69 —— *Ibid 23*, núms. 1-4, 3-9, 1960.
70 Rudakov, V. E.: *Botanicheskiy Zhurnal 43*, núm. 12, 1708-12, 1958.
71 Scantling, F. H.: *Tree-Ring Bulletin 12*, núm. 4, 27-32, 1946.
72 Schove, D. J.: *The Scottish Geographical Magazine 66*, núm. 1, 37-42, 1950.
73 —— *Geografiska Annaler 36*, núms. 1-2, 40-80, 1954.
74 —— *Weather 10*, núm. 11, 368-371, 395, 1955.
75 —— *Medieval Archaeology 3*, 228-90, 1959.
76 ——y Lowther, A. W. G.: *Ibid 1*, 78-95, 1957.
77 Schulman, E.: *Ecology 22*, 309-18, 1942.
78 —— *Tree-Ring Bulletin 11*, núm. 1, 2-6, 1944.
79 —— *Ibid. 19*, núms. 3-4, 1953.
80 —— *Dendroclimatic Changes in Semiarid America*, Tucson, 1956.
81 Smiley, T. L.: *Archaeological Field Practices Regarding Tree-Ring Specimens*. Trabajo mimeografiado, Laboratory of Tree-Ring Research, Univ. de Arizona, 1951a.
82 —— *Laboratory of Tree-Ring Research Bull.* núm. 5, Univ. de Arizona, 1951b.
83 —— Stubbs, S. A., y Bannister, B.: *Laboratory of Tree-Ring Research Bull.* núm. 6, Univ. de Arizona, 1953.
84 Stallings, W. S., Jr.: *Dating Prehistoric Ruins by Tree-Rings*. Laboratory of Tree-Ring Research, Univ. de Arizona, edición corregida, 1949.
85 Studhalter, R. A.: *Botanical Review 21*, núms. 1-3, 1-72, 1955.
86 Tree-Ring Bulletin.: Published by the Tree-Ring Society with the co-operation of the Laboratory of Tree-Ring Research, Univ. de Arizona, Tucson, 1934.
87 Van Stone, J. W.: *Tree-Ring Bulletin 20*, núm. 1, 6-8, 1953.
88 —— *Ibid. 22*, núms. 1-4, 12-15, 1958.
89 Weakly, H. E.: Carta a A. T. Hill, en (p. 205) Hill, A. T. y Metcalf, G.: *Nebraska History 22*, núm. 2, 1941.
90 —— A Preliminary Report on the Ash Hollow Charcoal, en Champe, J. L., «Ash Hollow Cave», *Univ. of Nebraska Studies N. S.*, núm. 1, apéndice 1, 1946.
91 —— *Proc. Fifth Plains Conf. for Arch., Note Book*, núm. 1, 111-14, 1949.
92 —— *Proc. Sixth Plains Arch. Conf., Anth. Papers*, núm. 11, 90-94, 1950.
93 Will, G. F.: *North Dakota Agricultural College Bulletin 338*, 1946.
94 —— *Proc. Fifth Plains Conf. for Arch., Note Book*, núm. 1, 114-16, 1949.
95 —— *Proc. Sixth Plains Arch. Conf., Anth. Papers*, núm. 11, 95-97, 1950.
96 Willey, G. R.: *Tree-Ring Bulletin 4*, núm. 2, 6-8, 1937.
97 Zamotorin, I. M.: *Sovetskaya Arcneologiya 1959*, núm. 1, 21-30, 1959.
98 Zeuner, F. E.: Advances in Chronological Research, en Heizer, R. F. y Cook, S. F. (eds.), «The Application of Quantitative Methods in Archaeology», *Viking Fund Publications in Anthropology*, núm. 28, 325-43, 1960.